



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 63 382 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 02 B 26/08

⑳ Aktenzeichen: 199 63 382.7
㉔ Anmeldetag: 28. 12. 1999
㉕ Offenlegungstag: 12. 7. 2001

DE 199 63 382 A 1

㉑ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:
Niendorf, Andreas, 12527 Berlin, DE; Funk, Karsten,
Dr., Mountain View, Calif., US

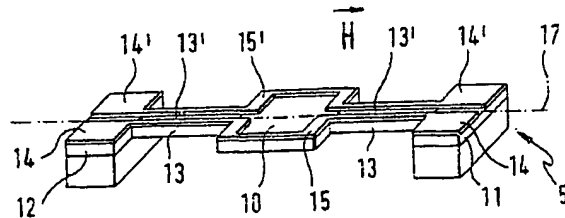
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 43 34 267 A1
EP 07 54 958 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Mikrospiegel**

⑤⑦ Es wird ein Mikrospiegel (5), insbesondere ein Mikroschwingspiegel, mit einer zumindest weitgehend freitragenden, um mindestens eine Torsionsachse (17) aus der Ruhelage auslenkbaren Spiegelfläche (10) vorgeschlagen. Dabei ist die Spiegelfläche (10) über mindestens zwei, zumindest näherungsweise parallel nebeneinander geführte Torsionsbalken (13, 13') mit mindestens einem Tragkörper (11, 12) verbunden. Weiter wird vorgeschlagen, den Mikrospiegel über elektrostatische oder magnetische Wechselwirkung aus seiner Ruhelage auszulenken.



BEST AVAILABLE COPY

DE 199 63 382 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Mikrospiegel, insbesondere einen Mikroschwingsspiegel, nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Stand der Technik

Ein Mikrospiegel und insbesondere ein Mikroschwingsspiegel, der mit einem elektrostatischen Antrieb versehen ist, ist bereits in der Anmeldung DE 198 57 946.2 vorgeschlagen worden. Dabei wird eine weitgehend freitragende Spiegelfläche mit zwei oder gegebenenfalls vier sich paarweise gegenüberliegenden Federstegen oder Torsionsbalken mit einem umgebenden Tragkörper verbunden.

Aus US 5,748,172 ist weiter bereits ein Mikrospiegel mit einem magnetischen Antrieb bekannt. Dabei ist ebenfalls eine weitgehend freitragende Membran über zwei gegenüberliegende Torsionsbalken mit einem umgebenden Tragkörper verbunden, wobei sich auf der Unterseite der Spiegelfläche Leiterbahnen in Form von Leiterschleifen oder Wicklungen befinden, durch die ein elektrischer Strom geführt werden kann, so daß bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes ein Drehmoment auf die Spiegelfläche ausgeübt wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Entwicklung eines neuartigen Spiegeldesigns mit erhöhter mechanischer Belastungsfähigkeit, das insbesondere auch für einen magnetischen Antrieb geeignet ist. Die erhöhte mechanische Belastungsfähigkeit soll dabei dadurch erreicht werden, daß die die Spiegelfläche mit dem Tragkörper verbindenden Torsionsbalken oder Federstege stärker beziehungsweise belastbarer gegenüber Torsionen und Erschütterungen ausgebildet werden.

Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Mikrospiegel hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil einer höheren mechanischen Belastungsfähigkeit und höheren Bruchstabilität, wobei gleichzeitig relativ kleine elektrische Spannungen erforderlich sind, um die Spiegelfläche aus der Ruhelage auszulenkten, beziehungsweise zu einer Torsionsschwingung anzuregen.

Weiter sind durch die erfindungsgemäße Ausbildung der Torsionsbalken vorteilhaft insgesamt höhere Antriebskräfte zur Auslenkung der Spiegelfläche als bei bekannten Mikrospiegeln erforderlich, was zu der erwähnten erhöhten Stabilität führt.

Schließlich ergibt sich dadurch, daß die Spiegelfläche erfindungsgemäß über mindestens zwei, zumindest näherungsweise parallel nebeneinander geführte Torsionsbalken mit dem Tragkörper verbunden ist bei vergleichbarer Biegefestigkeit eine im Vergleich zu einem einzelnen Torsionsbalken, der die gesamte Breite der parallelen Torsionsbalken und des dazwischen befindlichen Zwischenraumes einnimmt, verminderte Torsionssteifigkeit. Somit werden bei erhöhter Stabilität des gesamten Spiegeldesigns gleichzeitig größere Auslenkwinkel der Spiegelfläche möglich.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist es besonders vorteilhaft, wenn die Spiegelfläche auf zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils mit zwei beabstandet parallel nebeneinander geführten Torsionsbalken mit dem Tragkörper verbunden ist. Auf diese Weise kann auf der Oberfläche jedes Torsionsbalkens eine Leiterbahn aufgebracht werden, die die gesamte Oberfläche des Torsionsbalkens einnehmen kann, so daß sich eine optimale Nutzung

der Breite des Torsionsbalkens bei gleichzeitiger Isolation der Leiterbahnen gegeneinander ergibt. Damit ist es insbesondere vorteilhaft möglich, besonders hohe elektrische Ströme von beispielsweise 10 mA bis 1 A über die auf der Oberfläche der Torsionsbalken befindlichen Leiterbahnen zu führen.

Weiter können die auf der Oberfläche der Torsionsbalken verlaufenden Leiterbahnen nun möglichst breit gemacht werden, da das Problem der elektrischen Isolation gegeneinander entfällt.

Insgesamt ergibt sich durch die verbreiterten Leiterbahnen und die optimale Ausnutzung der Oberfläche der Torsionsbalken somit eine höhere Strombelastbarkeit, was zu höheren magnetischen Kräften beziehungsweise Drehmomenten im Fall eines magnetischen Antriebes führt. Daher erlaubt es das erfindungsgemäße Design des Mikrospiegels nunmehr aufgrund der größeren erzeugbaren Kräfte vorteilhaft ein robusteres Design der Torsionsbalken zu wählen.

So ist nun die Gesamtbreite der beiden beabstandet parallel zueinander geführten Torsionsbalken zusammen mit der Breite des dazwischen befindlichen Zwischenraumes größer als die Breite eines entsprechenden, einzigen, aus dem Stand der Technik bekannten Torsionsbalkens.

Zudem ergibt sich vorteilhaft eine Torsionssteifigkeit des erfindungsgemäßen Federdesigns, die niedriger ist als die Torsionssteifigkeit eines einzelnen Torsionsbalkens, der die gesamte Breite der beiden parallelen Torsionsbalken und des zugehörigen Zwischenraumes einnimmt.

Das vorgestellte Federdesign kann im übrigen vorteilhaft auch auf Mikrospiegel übertragen werden, die zwei zueinander senkrechte Torsionsachsen aufweisen.

Vorteilhaft ist weiter, daß die Leiterbahnen auf der Oberfläche der Torsionsbalken, die bereichsweise auf dem Tragkörper befindlichen Kontaktflächen und die auf der Oberfläche der Spiegelflächen geführten Leiterbahnen in einfacher Weise durch an sich bekannte Verfahren zur Oberflächenmetallisierung erzeugt werden können.

Der erfindungsgemäße Mikrospiegel kann darüber hinaus sowohl mit einem elektrostatischen als auch mit einem magnetischen Antrieb ausgestattet sein.

Das Versehen der eigentlichen Spiegelfläche mit zwei im äußeren Bereich symmetrisch angebrachten Schleifen, die zu einer deutlichen Vergrößerung des von den auf der Oberfläche der Spiegelfläche geführten Leiterbahnen eingeschlossenen magnetischen Flusses in einem äußeren Magnetfeld führt, hat schließlich den Vorteil, daß diese Schleifen gleichzeitig als Anschlag für die Spiegelfläche dienen können, und damit diese und besonders auch die Torsionsbalken vor Stößen und kurzzeitigen Überlastungen schützt. Dazu ist vorteilhaft vorgesehen, daß die Schleifen bei zu starker Torsion der Spiegelfläche an die obere beziehungsweise untere Gehäusesseite oder den Tragkörper anschlagen, und so ein Brechen der Torsionsbalken verhindern.

Diese zusätzlichen Schleifen an der Spiegelfläche sind insbesondere dann vorteilhaft, wenn der erfindungsgemäße Mikrospiegel statisch ausgelenkt werden soll, und zur Erreichung einer möglichst kleinen Luftdämpfung ein Luftspalt zwischen Spiegelfläche und umgebenden Tragkörper vorgesehen ist. Zusammenfassend hat der erfindungsgemäße Mikrospiegel den Vorteil großer Antriebskräfte bei gleichzeitig kleinen Antriebsspannungen, wobei sich gleichzeitig eine verbesserte Stabilität des Mikrospiegels und eine erhöhte Ausbeute bei der Herstellung ergibt, da die erzeugten Mikrostrukturen insgesamt robuster sind. Daneben kann der erfindungsgemäße Mikrospiegel vollständig mittels an sich bekannter Herstellungsverfahren hergestellt werden, so daß keine neuen Verfahrensschritte und Herstellungstechnologien in der Fertigung erforderlich sind.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Die Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines Mikrospiegels mit elektrostatischem Antrieb, die Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform mit magnetischem Antrieb, und die Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform eines Mikrospiegels mit magnetischem Antrieb.

Ausführungsbeispiele

Die Fig. 1 zeigt einen Mikrospiegel 5, der in Form eines Mikroschwingspiegels ausgeführt ist.

Im einzelnen ist dazu aus einem Tragkörper 11, 12 aus beispielsweise Silizium in an sich bekannter Weise der dargestellte Mikrospiegel 5 herausstrukturiert worden, wobei eine Spiegelfläche 10 in Form eines Rechtecks mit Abmessungen von typischerweise $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ bis $400\text{ }\mu\text{m} \times 400\text{ }\mu\text{m}$ vorgesehen ist, die an zwei gegenüberliegenden Seiten mit jeweils zwei, parallel beabstandet nebeneinander geführten Torsionsbalken 13, 13' versehen ist. Die Torsionsbalken 13, 13', die als Federstege wirken, verbinden die Spiegelfläche 10 mit dem die Spiegelfläche beispielsweise seitlich und im unteren Bereich umgebenden Tragkörper 11, 12, so daß die Spiegelfläche 10 weitgehend freitragend ist. Der Tragkörper 11, 12 ist dazu beispielsweise ein Siliziumwafer.

Die Torsionsbalken 13, 13' haben weiter eine Länge von $10\text{ }\mu\text{m}$ bis $100\text{ }\mu\text{m}$, eine Höhe von $2\text{ }\mu\text{m}$ bis $10\text{ }\mu\text{m}$ und eine Breite von $5\text{ }\mu\text{m}$ bis $15\text{ }\mu\text{m}$. Sie sind zudem in einem Abstand von $2\text{ }\mu\text{m}$ bis $5\text{ }\mu\text{m}$ parallel zueinander angeordnet, so daß sich ein dem Abstand entsprechender Zwischenraum zwischen den Torsionsbalken 13, 13' ergibt.

Unterhalb der Spiegelfläche 10 befindet sich zur Realisierung eines elektrostatischen Antriebs eine Elektrodenfläche, auf der bereichsweise in an sich bekannter Weise eine Elektrode 18 aufgebracht ist. Zudem ist vorgesehen, die Spiegelfläche zumindest bereichsweise, insbesondere auf der Unterseite, mit einer Metallisierung zu versehen, die über die Torsionsbalken 13, 13' geführte Leiterbahnen mit einer äußeren Spannungsversorgung verbunden ist.

Auf diese Weise kann durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektrode 18 beziehungsweise die Spiegelfläche 10 eine elektrostatische Kraft zwischen der Spiegelfläche 10 und der Elektrode 18 ausgeübt werden, daß eine Auslenkung der Spiegelfläche 10 um eine Torsionsachse 17 eintritt, die parallel zu der durch die Torsionsbalken 13, 13' definierten Achse liegt.

Auf weitere Ausführungen zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1, insbesondere weiterer Details zur Herstellung des Mikrospiegels 5, zur elektrischen Steuerung und Anschlußkontaktierung, sei verzichtet, da diese Details dem Fachmann an sich bekannt sind.

Die Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1, wobei anstelle eines elektrostatischen Antriebs nunmehr ein magnetischer Antrieb eingesetzt wird. Dazu sind auf der Oberfläche der Spiegelfläche 10 zumindest einseitig Leiterbahnen 15, 15' vorgesehen, die zweckmäßig am äußeren Rand der Spiegelfläche geführt sind, so daß sie eine möglichst große Fläche auf der Spiegelfläche 10 einschließen. Die Leiterbahnen 15, 15' sind beispielsweise in an sich bekannter Weise durch bereichsweises Aufbringen von Oberflächenmetallisierungen, beispielsweise aus Gold, erzeugt worden. Damit die Leiterbahnen 15, 15' in Fig. 2 einen möglichst großen elektrischen Strom tragen können, ist es weiter zweckmäßig, die Leiterbahnen 15, 15' möglichst dick und flächig auszubilden.

Die Leiterbahnen 15, 15' sind ausgehend von der Spiegelfläche 10 über die jeweils zugeordneten Torsionsbalken 13 beziehungsweise 13' zu elektrischen Kontaktflächen 14, 14' geführt, die beispielsweise in an sich bekannter Weise auf dem Tragkörper 11, 12 aufgebracht sind. Dabei nehmen die Leiterbahnen 15, 15' jeweils die gesamte Oberfläche des ihnen jeweils zugeordneten Torsionsbalkens 13 beziehungsweise 13' ein.

Die elektrische Trennung der beiden Leiterbahnen 15, 15' wird durch den zwischen den Torsionsbalken 13, 13' befindlichen Zwischenraum gewährleistet.

Die Dicke der Leiterbahnen 15, 15' beträgt bevorzugt 100 nm bis $2\text{ }\mu\text{m}$, sie kann jedoch auch $10\text{ }\mu\text{m}$ erreichen. Ihre Breite liegt zweckmäßig zwischen $5\text{ }\mu\text{m}$ und $50\text{ }\mu\text{m}$. Die Leiterbahnen 15, 15' bestehen im übrigen bevorzugt aus Gold.

In der Fig. 2 ist weiter durch das eingetragene Symbol H angedeutet, daß sich der Mikrospiegel 5 gemäß Fig. 2 in einem äußeren Magnetfeld befindet.

Bei Betrieb des Mikrospiegels 5 durch Anlegen einer äußeren elektrischen Spannung von beispielsweise 10 V bis 30 V an zwei benachbarte Kontaktflächen 14, 14' und durch Schließen des Stromkreises mit Hilfe der beiden verbliebenen, gegenüberliegenden Kontaktflächen 14, 14' fließt somit ein elektrischer Strom I von beispielsweise 10 mA bis 500 mA über die Leiterbahnen 15, 15', so daß sich durch die erläuterte Anordnung der Leiterbahnen 15, 15' eine geschlossene Leiterschleife bildet, die eine durch die Dimension der Spiegelfläche 10 definierte Fläche A einschließt.

Damit wird durch den angelegten elektrischen Strom I und das äußere Magnetfeld H ein Drehmoment T auf die Spiegelfläche 10 ausgeübt, wobei gilt:

$$\vec{T} = \vec{I} \cdot \vec{A} \times \vec{B} \text{ und } \vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

Dieses Drehmoment T, das proportional dem anliegenden elektrischen Strom I, der Stärke des äußeren Magnetfeldes B bzw. H und der von der Leiterschleife eingeschlossenen Fläche A ist, bewirkt somit eine Verdrehung bzw. Torsion der Spiegelfläche 10 um die Torsionsachse 17. Bei geeigneter, beispielsweise periodischer Variation des angelegten elektrischen Stromes I und/oder des äußeren Magnetfeldes H ist es somit in einfacher Weise möglich, auch eine Torsionsschwingung der Spiegelfläche 10 anzuregen.

Das erläuterte Ausführungsbeispiel eignet sich jedoch offensichtlich auch für eine statische Auslenkung der Spiegelfläche 10.

Insgesamt ist es zur Erzielung einer möglichst großen Kraft beziehungsweise eines möglichst großen Drehmomentes auf die Spiegelfläche 10 im erläuterten Beispiel zweckmäßig, die Leiterbahnen 15, 15' zumindest einseitig auf der Oberfläche der Spiegelfläche 10 derart zu führen, daß in dem äußeren Magnetfeld H ein möglichst großer magnetischer Fluß von den Leiterbahnen 15, 15' eingeschlossen wird.

Die Fig. 3 erläutert in Weiterführung von Fig. 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, das sich von der Fig. 2 lediglich dadurch unterscheidet, daß die Spiegelfläche 10 durch eine entsprechende geeignete Herausstrukturierung aus dem Tragkörper 11, 12 seitliche Schleifen 16, 16' aufweist. Diese Schleifen 16, 16' sind bevorzugt symmetrisch angeordnet und dienen primär der Vergrößerung des Drehmomentes T beziehungsweise des eingeschlossenen magnetischen Flusses durch Vergrößerung der von den Leiterbahnen 15, 15' umschlossenen Fläche.

Die Schleifen 16, 16' gemäß Fig. 3 weisen beispielsweise eine Gesamtlänge von $500\text{ }\mu\text{m}$ bis 1 mm und eine Gesamtbreite von $100\text{ }\mu\text{m}$ bis $500\text{ }\mu\text{m}$. Ihre Dicke entspricht der

Dicke der Spiegelfläche 10. Die Schleifen 16, 16' sind weiter ähnlich den Torsionsbalken 13, 13' ausgebildet, das heißt, sie haben die Form schmaler Stege, die einen Raum umschließen, wobei auf der Oberfläche der Stege die jeweils zugeordnete Leiterbahn 15 beziehungsweise 15' verläuft und diese Oberfläche bevorzugt vollständig bedeckt.

Dadurch daß die Spiegelfläche 10 in Fig. 3 mit den Schleifen 16, 16' versehen ist, umschließt die beim Schließen des Stromkreises entstehende Leiterschleife insgesamt eine größere Fläche, so daß bei gleichem Strom I und gleichem äußeren Magnetfeld H ein deutlich erhöhtes Drehmoment T erzeugbar ist.

Das äußere anliegende Magnetfeld hat im übrigen eine Stärke von bevorzugt 1 mTesla bis 1000 mTesla und wird beispielsweise durch einen in der Umgebung der Spiegelfläche 10 angeordneten Permanent- oder Elektromagneten erzeugt.

Patentansprüche

1. Mikrospiegel, insbesondere Mikroschwingspiegel, mit einer zumindest weitgehend freitragenden, um mindestens eine Torsionsachse (17) aus der Ruhelage auslenkbaren Spiegelfläche (10), dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelfläche (10) über mindestens zwei, zumindest näherungsweise parallel nebeneinander geführte Torsionsbalken (13, 13') mit mindestens einem Tragkörper (11, 12) verbunden ist.
2. Mikrospiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Torsionsbalken (13, 13') beabstandet parallel nebeneinander geführt sind.
3. Mikrospiegel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelfläche (10) über vier Torsionsbalken (13, 13') mit dem Tragkörper (11, 12) verbunden ist, wobei jeweils zwei der Torsionsbalken (13, 13') beabstandet nebeneinander angeordnet sind und wobei die vier Torsionsbalken (13, 13') eine gemeinsame Torsionsachse (17) definieren.
4. Mikrospiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelfläche (10) zumindest bereichsweise oberflächlich metallisiert oder mit Leiterbahnen (15; 15') versehen ist.
5. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelfläche (10) über mindestens eine Leiterbahn (15, 15') elektrisch mit dem Tragkörper (11, 12) verbunden ist, wobei der Tragkörper (11, 12) insbesondere mindestens eine Kontaktfläche (14, 14') aufweist.
6. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorgesehen sind, die eine Auslenkung, insbesondere eine statische Torsion oder eine Torsionsschwingung, der Spiegelfläche (10) um die Torsionsachse (17) bewirken.
7. Mikrospiegel nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel mindestens eine in einer Umgebung der Spiegelfläche (10) angeordnete Elektrode (18) ist, über die mittels elektrostatischer Wechselwirkung die Spiegelfläche (10) aus der Ruhelage auslenkbar oder zu einer Torsionsschwingung anregbar ist.
8. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Spiegelfläche (10) bereichsweise mit Leiterbahnen (15, 15') versehen ist, die über die Torsionsbalken (13, 13') elektrisch leitend mit dem Tragkörper (11, 12), insbesondere mit auf dem Tragkörper (11, 12) befindlichen Kontaktflächen (14, 14'), verbunden sind.

9. Mikrospiegel nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (15, 15') jeweils zumindest einseitig flächig auf einer Oberfläche eines zugeordneten Torsionsbalkens (13, 13') verlaufen und insbesondere diese Oberfläche des Torsionsbalkens (13, 13') zumindest weitgehend bedecken.

10. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (13, 13') zumindest einseitig auf der Oberfläche der Spiegelfläche (10) derart verlaufen, daß in einem äußeren Magnetfeld (H) ein möglichst großer magnetischer Fluß von den Leiterbahnen (13, 13') eingeschlossen wird.

11. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (13, 13') zumindest einseitig auf der Oberfläche der Spiegelfläche (10) derart verlaufen, daß in einem äußeren Magnetfeld (H) bei einem durch die Leiterbahnen (13, 13') geführten elektrischen Strom ein möglichst großes Drehmoment auf die Spiegelfläche (10) ausgeübt wird.

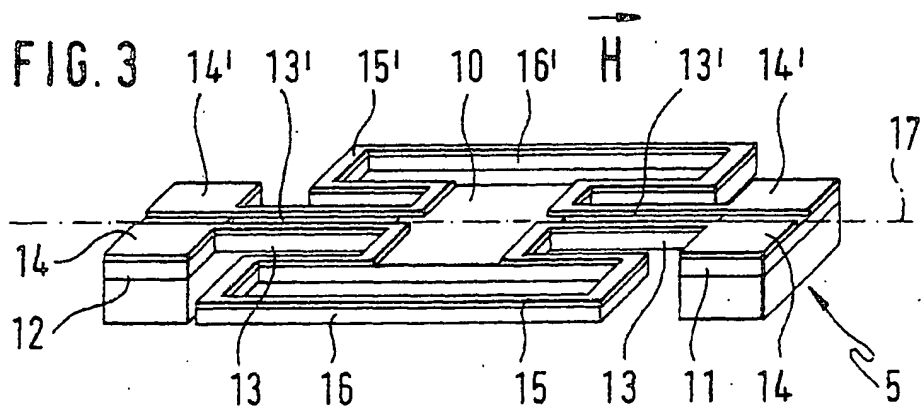
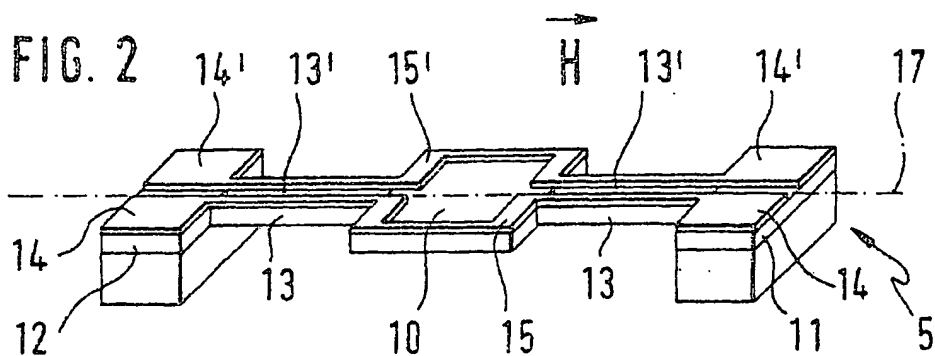
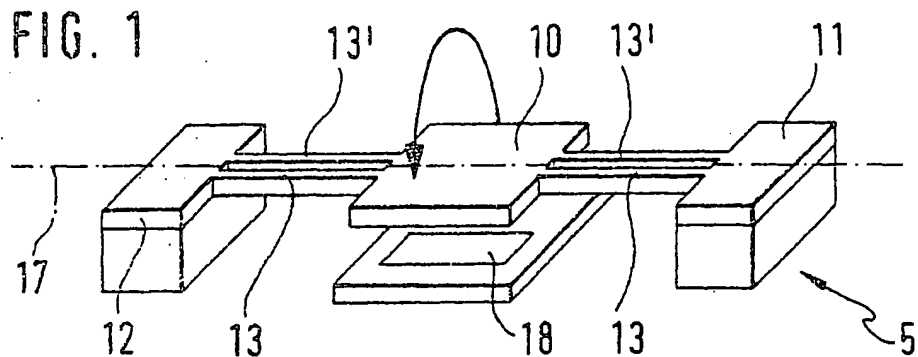
12. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (13, 13') auf der Oberfläche der Spiegelfläche (10) in Form einer Leiterschleife geführt sind.

13. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelfläche (10) zur Vergrößerung des Drehmomentes und/oder des magnetischen Flusses mindestens eine Schleife (16, 16'), insbesondere zwei symmetrisch aufgebaute Schleifen (16, 16') aufweist, auf deren Oberfläche je eine Leiterbahn (15, 15') verläuft.

14. Mikrospiegel nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schleifen (16, 16') ein möglichst geringes Gewicht aufweisen und gleichzeitig in einem äußeren Magnetfeld (H) einen möglichst großen magnetischen Fluß einschließen und/oder bei einem durch die Leiterbahnen (13, 13') geführten elektrischen Strom ein möglichst großes Drehmoment auf die Spiegelfläche (10) ausüben.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



BEST AVAILABLE COPY